

# **АВИАЦИОННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

Лекция 16

- 16.1 Реакция якоря в генераторах постоянного тока и способы её устранения.**
- 16.2 Коммутация в машинах постоянного тока.**

## 16.1 Реакция якоря в генераторах постоянного тока и способы её устранения.

При работе генератора в режиме холостого хода в магнитной системе генератора имеется только одно магнитное поле – поле индуктора от тока в ОВ (рис. 16.1). В параллельных ветвях ОЯ возникают лишь ЭДС, которые уравновешивают друг друга.

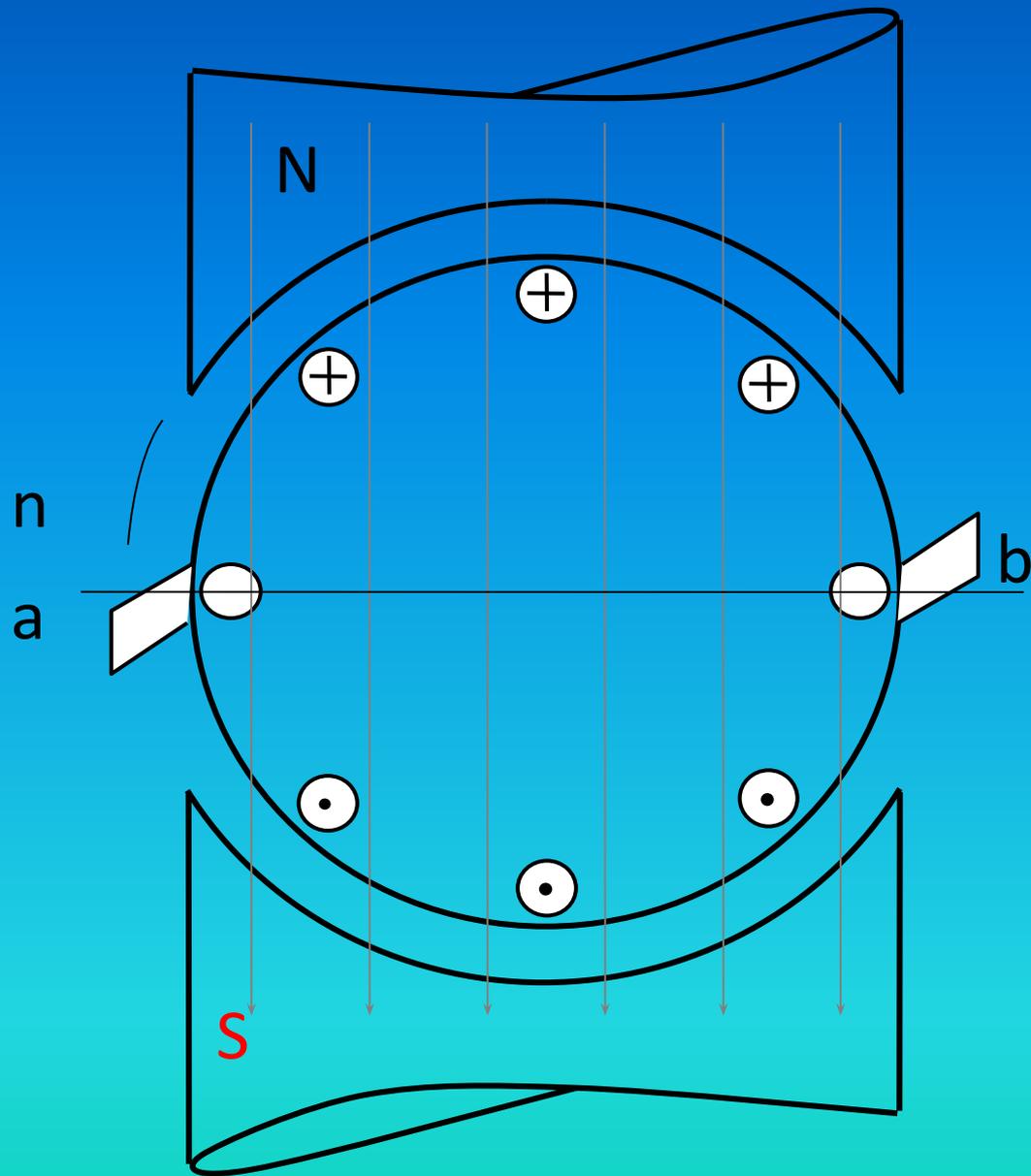


Рис. 16.1. Магнитное поле генератора постоянного тока в режиме холостого хода

Щетки расположены на нейтральной линии  $ab$ , поэтому искрения на коллекторе нет, так как в секциях, коммутируемых щетками, ЭДС равны нулю.

Если к генератору подключить нагрузку, то электрическую схему можно будет представить так, как изображено на рис. 16.2, а магнитное поле генератора постоянного тока в режиме нагрузки – как на рис. 16.3.

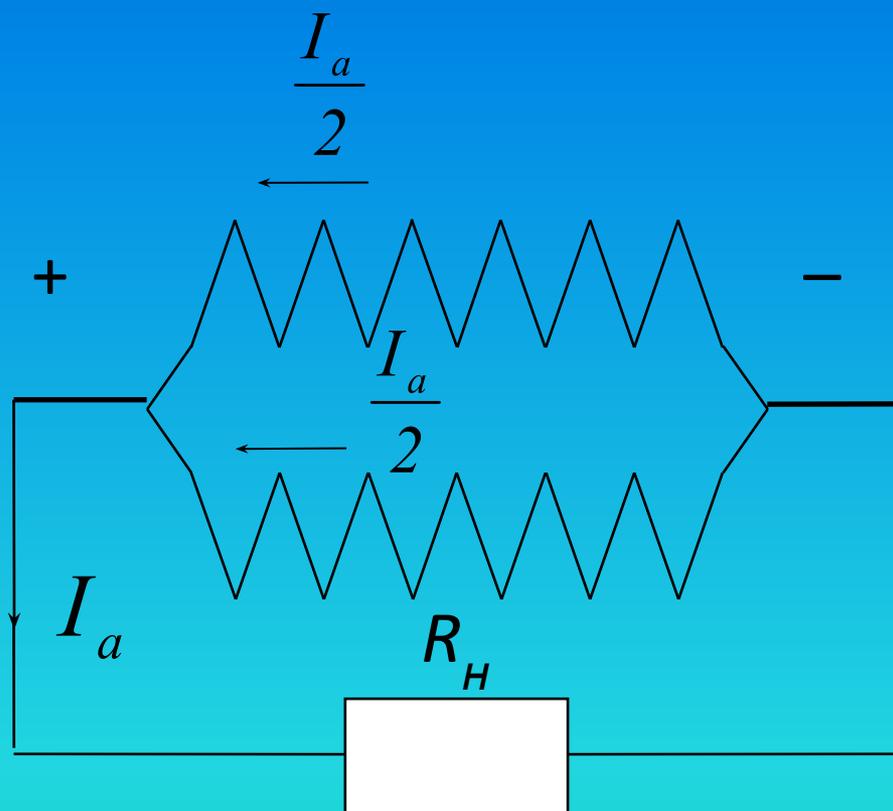
$I_a$ 

Рис. 16.2. Электрическая схема генератора постоянного тока в режиме нагрузки

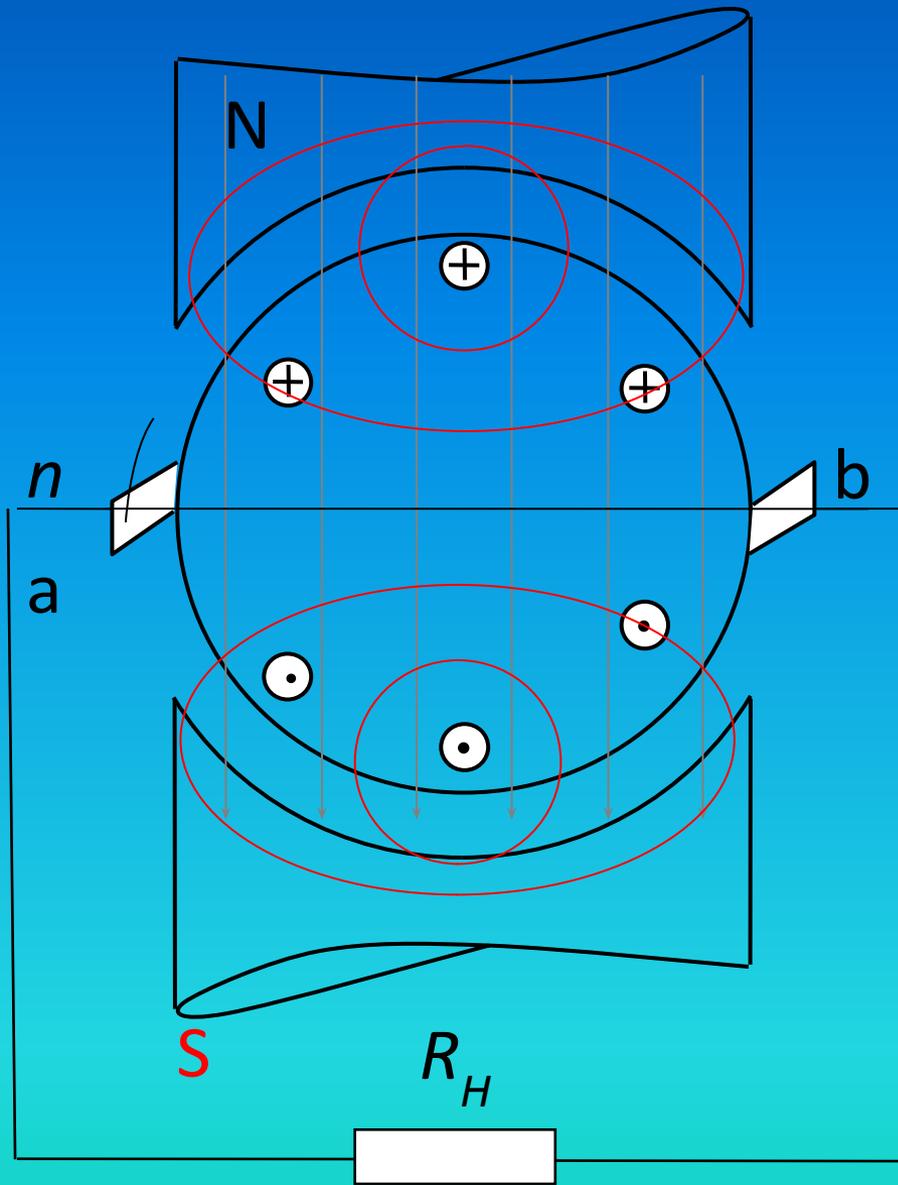


Рис. 16.3. Магнитное поле генератора постоянного тока в режиме нагрузки

Ось магнитного поля якоря перпендикулярна к оси магнитного поля индуктора.

У набегающего края каждого полюса магнитные силовые линии поля якоря имеют направление, противоположное направлению магнитных силовых линий индуктора – ослабляют его – а у сбегающего края – одинаковое направление – усиливают поле индуктора.

Результирующее поле можно рассматривать, как исходное, искаженное в результате воздействия на него поля якоря.

*Воздействие поля якоря на магнитное поле индуктора называется реакцией якоря в генераторе постоянного тока.*

С увеличением  $I_a$  искажение поля увеличивается, магнитные силовые линии результирующего поля еще больше отклоняются от направления, перпендикулярного к нейтральной оси  $ab$  (угол  $\alpha$  увеличивается) (рис. 16.4). Поэтому искрение под щетками увеличивается

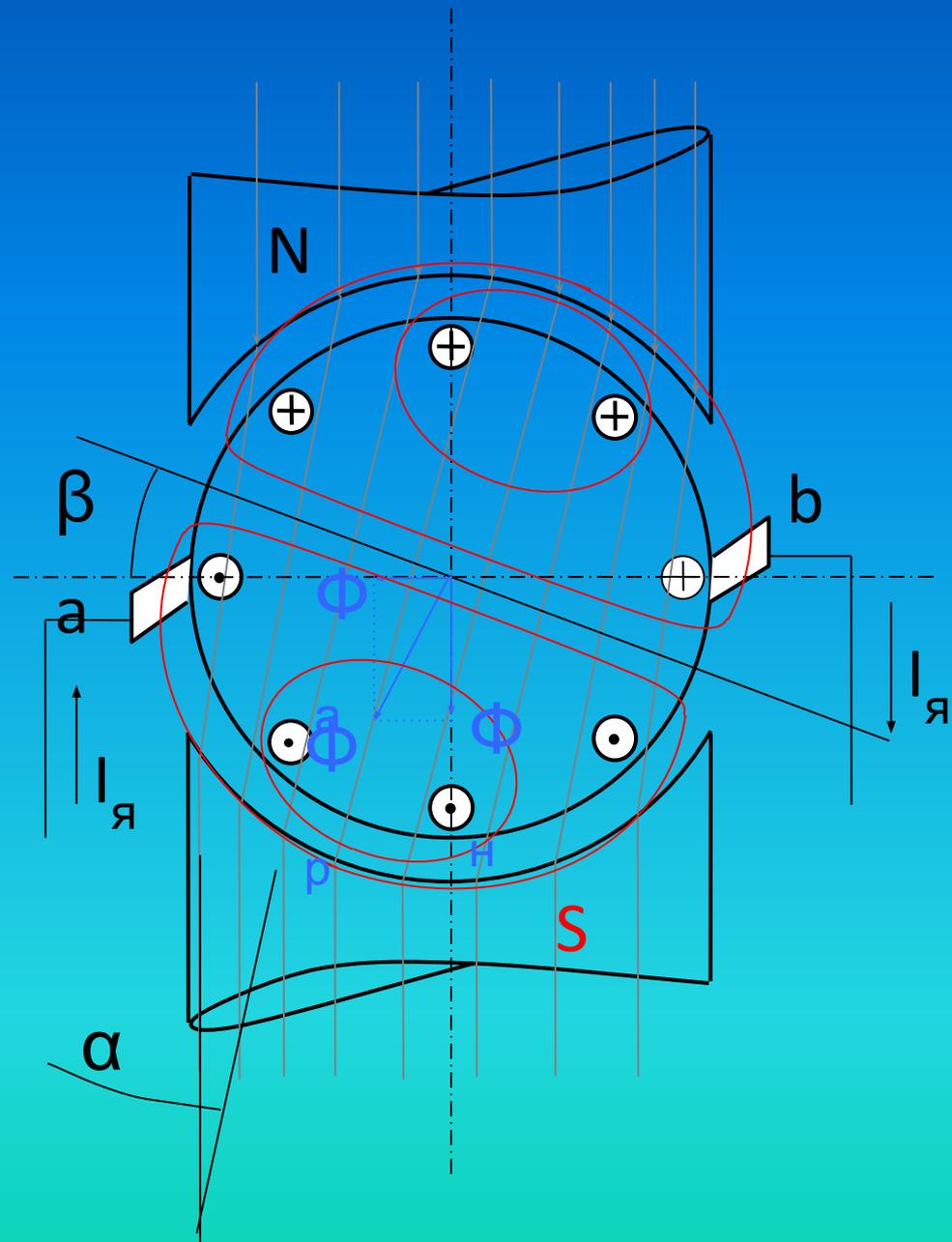


Рис. 16.5. Искажение основного магнитного поля машины постоянного тока магнитным полем реакции якоря

Если щетки переместить с геометрической нейтрали  $ab$  (ГН) на физическую нейтраль (ФН)  $a'b'$ , то искрение прекратится, так как щетки будут замыкать секции обмотки якоря в тот момент, когда эти секции не пересекают магнитные силовые линии.

Но этот способ борьбы с искрением не универсален, так как с изменением нагрузки положение щеток надо все время изменять.

Кроме этого: со сдвигом щеток на новую нейтраль появляется размагничивающая составляющая у поля якоря, которая ослабляет поле индуктора, следовательно уменьшает ЭДС.

Для устранения искрения щеток при любой нагрузке служат добавочные полюсы, расположенные на нейтрали ( $ab$ ) (рис. 16.6).

Своим противоположным полем они размагничивают магнитное поле якоря и устраняют причину искажения магнитного поля индуктора.

Чтобы размагничивание происходило автоматически в соответствии с нагрузкой генератора, обмотка добавочных полюсов включается последовательно с внешней цепью.

Добавочные полюсы не устраняют создаваемое реакцией якоря неравномерное распределение индукции под главными полюсами и уменьшение полезного тока.



В крупных электрических машинах, а также в электрических машинах, работающих в тяжелых условиях, сильное местное повышение индукции под главными полюсами может вызвать перекрытие изоляционного промежутка между пластинами коллектора, а затем и круговой огонь.

Необходимо полностью компенсировать реакцию якоря. Для этого делаются специальные компенсационные обмотки, которые размещаются в пазах, сделанных в несколько расширенных полюсных наконечниках главных полюсов (рис. 16.7).

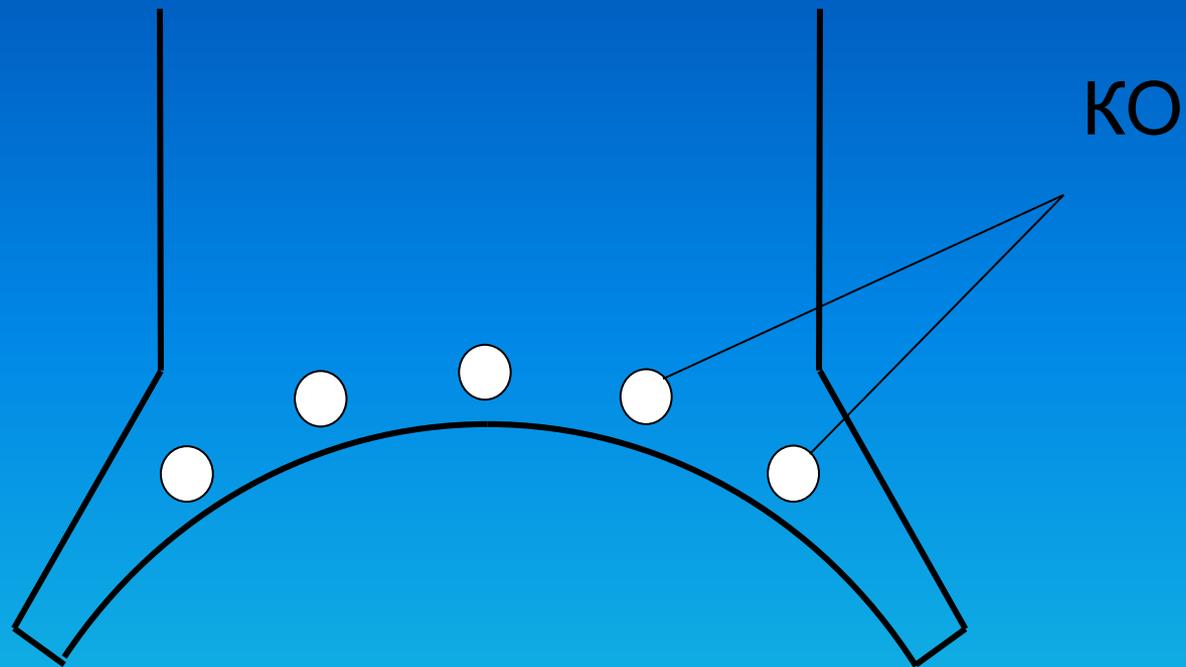


Рис. 16.7. Компенсационная обмотка

Компенсационные обмотки соединяются последовательно с якорем, таким образом, что каждый из её стержней как бы образует с находящимися под ним стержнем обмотки якоря бифилярную систему, магнитное поле у которой почти отсутствует. Однако компенсационные обмотки – дорогие, увеличиваются и потери в них.

## 16.2. Коммутация в машинах постоянного тока

Коммутация, то есть процесс переключения секций, является одним из важнейших факторов, определяющего работу МПТ.

При плохой коммутации появляется искрение на коллекторе, которое может привести к выходу машины из строя.

## Шкала степеней искрения (классы коммутации)

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Нет почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	Следы почернения на коллекторе, легко устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также следы нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки	Следы почернения на коллекторе, не устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также следы нагара на щетках
3	Значительно искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр	Значительное почернение на коллекторе, не устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

## 16.2.1 Сущность коммутационного процесса

Ранее при рассмотрении вопросов обмоток было отмечено, что по обе стороны щетки, то есть в каждой ветви обмотки, проходит ток  $i_{я'}$ , и токи этих ветвей имеют разные направления.

В момент, когда щетки находятся только над пластиной 1, ток  $i_b$  секции  $abc$  идет от  $c$  к  $a$  и равен  $+i_{я'}$ . (рис 16.8,а).

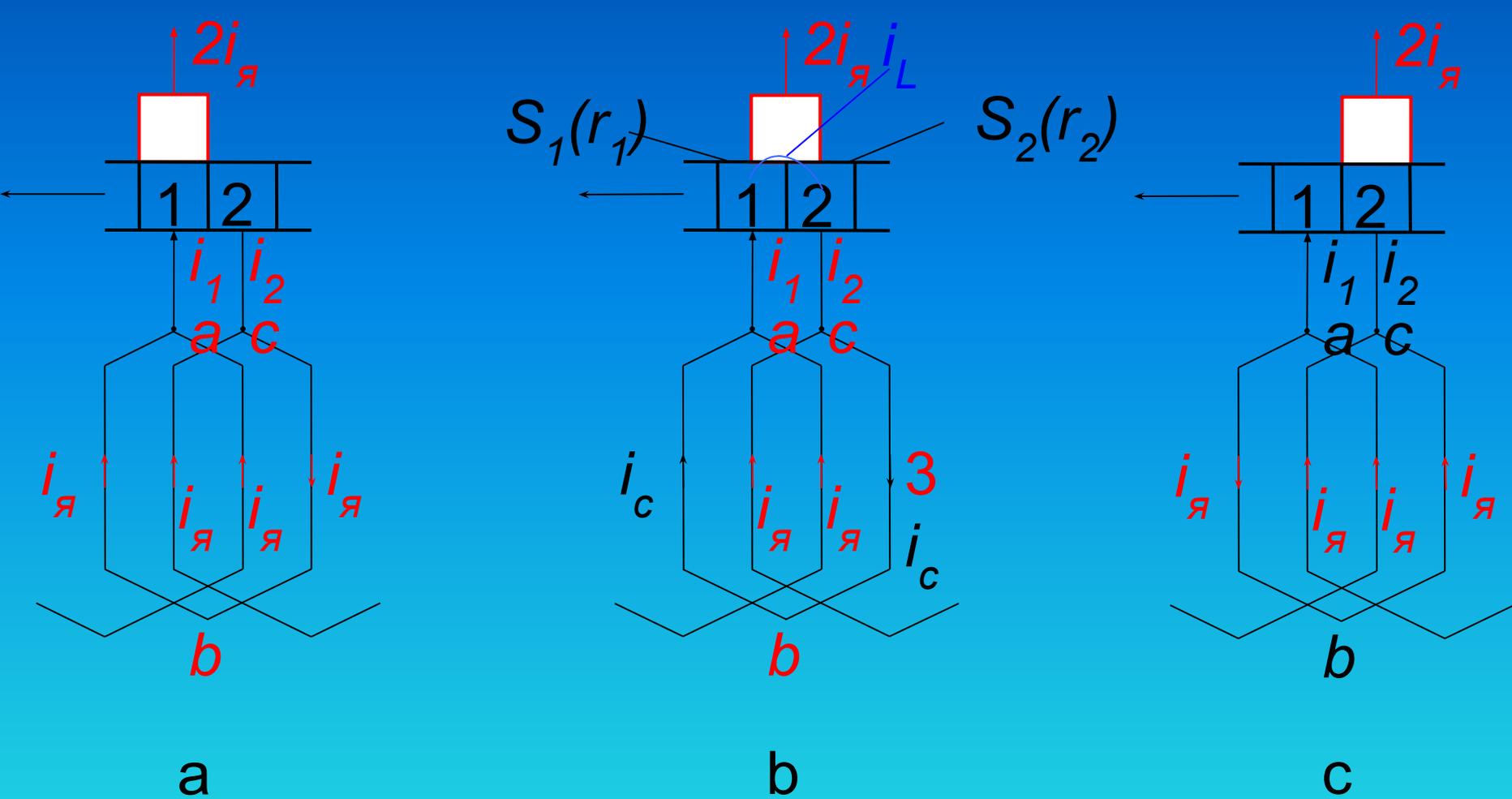


Рис. 16.8. Сущность процесса коммутации

Далее ток секции  $b$  и  $a$  складывается с током второй ветви ( $i_1 = 2i_{я}$ ) и через пластину 1, а затем щетку будет идти во внешнюю цепь в этот момент  $i_2 = 0$ .

Спустя время  $T$  щетка будет только на пластине 2 (рис 16.8,с). В этот момент  $i_1 = 0$ ,  $i_2 = 2i_{я}$  и по секции  $abc$  проходит ток от  $a$  к  $c$ , то есть  $i_c = -i_{я}$ .

Таким образом, за время  $T$ , называемое периодом коммутации, коммутирующая цепь  $abc$  переходит из одной ветви обмотки в другую, и ток изменяется от  $+i_{я}$  до  $-i_{я}$ , то есть на величину  $2i_{я}$ .

В процессе коммутации в секции обмотки будет наводиться ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{d_{ic}}{dt} \quad (16.1)$$

и ЭДС взаимоиנדукции  $e_m$ .

Результирующая ЭДС – реактивная, она будет (16.2)

$$e_p = e_L + e_m$$

В авиационных электрических машинах  $e_m \approx 0$ ,

поэтому  $e_L \approx e_p$ .

Кроме этого может наводиться и ЭДС внешнего поля  $e_k$  (если щетка сдвинута с линии физической нейтрали).

Обозначим сопротивления переходных контактов сбегающего и набегающего краем щетки  $r_1$  и  $r_2$ . Тогда к замкнутому контуру (рис. 16.8, *b*) применим второй закон Кирхгофа

$$\sum e = i_1 r_1 - i_2 r_2 \quad (16.3)$$

Очевидно, что

$$i_1 = i_{\text{я}} + i_c \quad (16.4)$$

$$i_2 = i_{\text{я}} - i_c$$

получим:

$$i_c = i_{\text{я}} \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} + \frac{\sum e}{r_1 + r_2} \quad (16.5)$$

Будем считать, что  $r_1$  и  $r_2$  не зависят от плотности

тока, поэтому

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (16.6)$$

Площадь  $S_2$  пропорциональна времени  $t$ , протекающему от начального момента коммутации до рассматриваемого момента времени, а площадь  $S_1$  – времени  $T-t$ , оставшемуся до конца коммутации.

Поэтому:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{t}{T - t} \quad (16.7)$$

## 16.2.2 Виды коммутации. Распределение плотности тока в контакте щетки

### Прямолинейная коммутация

Если  $\sum_{\alpha \in \Omega} \sigma_{\alpha} = 0$  из (16.5) следует:

$$i_c = i_y \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} \quad (16.8)$$

и учитывая (16.7) получим

$$i_c = i_y \left( 1 - \frac{2t}{T} \right) \quad (16.9)$$

То есть ток в коммутирующей секции изменяется прямолинейно (прямая 1, рис. 16.9). Эта коммутация – прямолинейная.

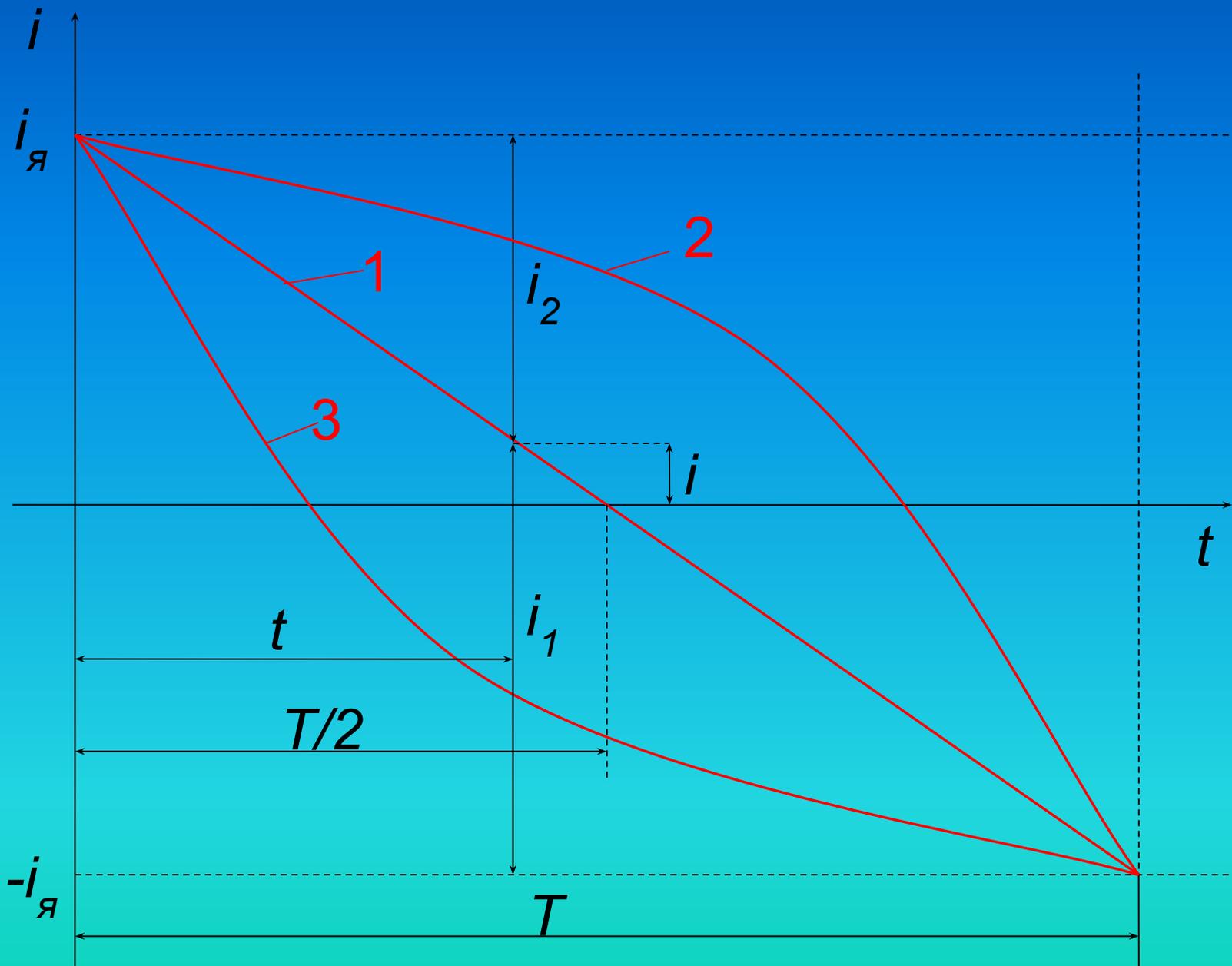


Рис. 16.9. Графики протекания коммутации в машине постоянного тока

При этой коммутации плотность тока по всей

площади щетки одинакова

$$j_1 = \frac{i_1}{S_1} = j_2 = \frac{i_2}{S_2} \quad (16.10)$$

Эта коммутация не вызывает искрения под

щеткой.

## Криволинейная коммутация

В общем случае в коммутирующей секции наводится ЭДС  $e_L$  и  $e_k$ . Под действием этих ЭДС в цепи секции, замкнутой щеткой накоротко, проходит добавочный ток коммутации, который налагается на ток прямолинейной коммутации и делает ее криволинейной.

Если  $e_k$  ~~или~~  $e_k$  , то  $e_k$  добавочный ток направлен согласно с уменьшающимся током  $i_1$  и против возрастающего тока  $i_2$ , так как ЭДС  $e_L$  препятствует происходящим в цепи изменениям.

Вследствие этого ток  $i_c$  в коммутирующей секции изменяется замедленно (кривая 2), и такая коммутация называется замедленной.

При замедленной коммутации плотность тока на сбегающем крае щетки возрастает, и может быть искрение при разрыве цепи в момент, когда щетка сбегает с коллекторной пластины.

Если  $e_k > e_L$  процесс изменения тока в коммутирующей секции ускоряется, и коммутация называется ускоренной (кривая 3).

При ускоренной коммутации возрастает плотность тока под набегающим краем щетки, и может возникнуть искрение в момент, когда щетка набегаёт на коллекторную пластину.

### *16.2.3 Круговой огонь по коллектору*

При значительных перегрузках или внезапном КЗ коммутация приобретает резко замедленный характер. В этом случае между сбегающей коллекторной пластиной и сбегающим краем щетки возникает электрическая дуга. Так как коллектор вращается, то дуга механически растягивается (рис. 16.10).

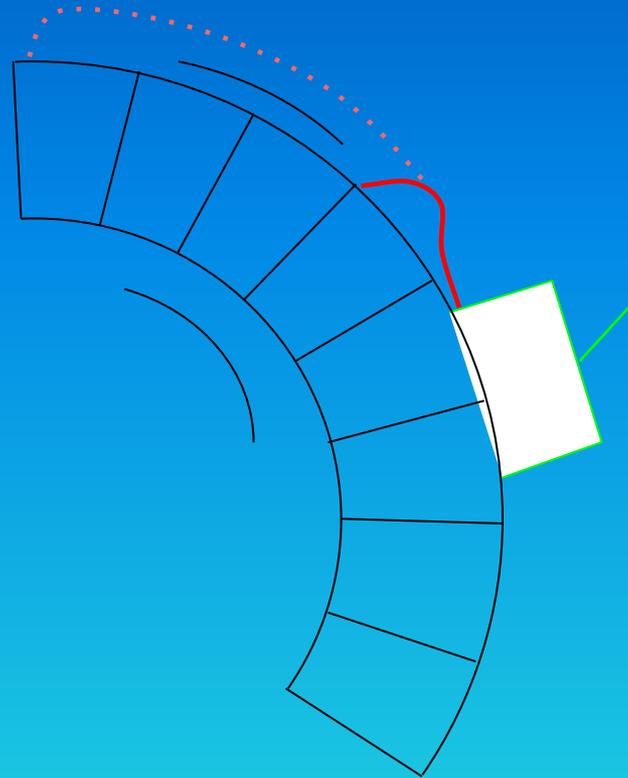


Рис. 16.10. Возникновение электрической дуги на коллекторе

Наряду с этим перегрузка машины сопровождается усилением реакции якоря, под действием которой распределение индукции в воздушном зазоре машины становится неравномерным.

В результате напряжение между соседними коллекторными пластинами увеличивается, превышая допустимые пределы. Это может привести к возникновению электрической дуги между смежными пластинами, а появление высокого потенциала на некоторых пластинах вызывает резкое повышение напряжения между щеткой и коллекторными пластинами по мере их удаления от сбегающего края щетки.

Электрические дуги сливаются «потенциальными» дугами, образуя вокруг коллектора мощную электрическую дугу, которая может перекинуться и на корпус машины. Это явление называется *круговым огнем по коллектору*.

Для защиты от него между коллектором и обмоткой на якоре устанавливают защитный экран (рис. 16.11).

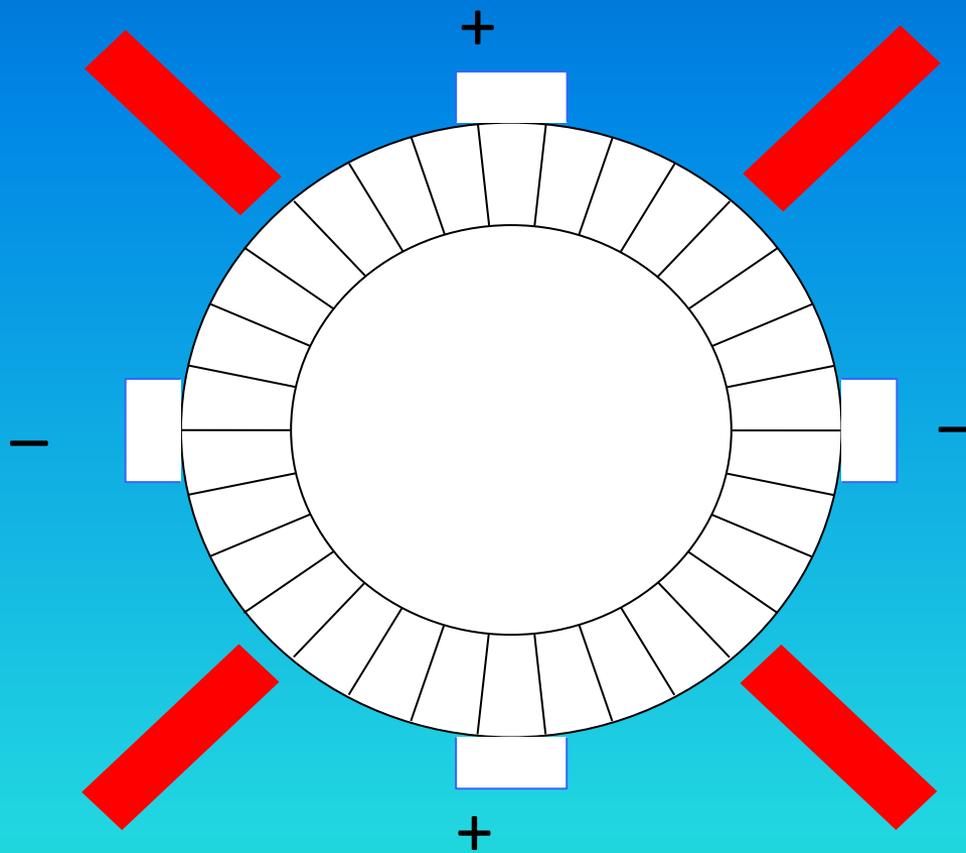


Рис. 16.11. Защитные экраны от кругового огня по коллектору

### 16.2.4. Способы улучшения коммутации

Чтобы приблизить коммутацию к прямолинейной, нужно ограничить добавочный ток коммутации:

$$i_{доб} = \frac{\sum e}{r_1 + r_2} = \frac{e_p + e_k}{r_k} \quad (16.11)$$

где  $r_k$  — сопротивление цепи коммутирующей секции.

Основным методом ограничения  $i_{доб}$  является уменьшение ЭДС  $e_k$ , которую стремятся приблизить к нулю.

Это может быть достигнуто:

*1. Сдвигом щеток с нейтрالي.*

Щетки смещают с геометрической нейтрالي на физическую нейтраль. Для генератора щетки сдвигаются по направлению вращения якоря, для двигателя - против направления вращения.

*2. Добавочные полюсы.*

*3. Укорочение шага обмотки.*

В обмотке с полным шагом коммутация происходит одновременно в обеих секциях паза, что увеличивает значение реактивной ЭДС из-за явления взаимоиндукции.

*4. Компенсационная обмотка.*